

不同施磷水平对旱地小麦产量及其构成要素的影响

陆梅, 孙敏, 高志强*, 任爱霞, 雷妙妙, 薛珍珠

(山西农业大学农学院, 山西 太谷 030801)

摘要:【目的】探索旱地小麦适宜施磷量。【方法】于2012—2014年在山西农业大学闻喜县邛家岭村开展大田试验,设置了施磷量(P_2O_5)分别为0、75、150、225 kg/hm²共4个处理,分析了磷肥对旱地小麦土壤水分、土壤和植株含磷量、产量及其构成的影响。【结果】随施磷量的增加,花前0~300 cm土壤蓄水量、拔节后表层土壤有效磷量、各生育时期植株磷素积累量均呈先升后降的变化趋势,以施磷量150 kg/hm²最高。2012—2013年度和2013—2014年度施磷量均为150 kg/hm²时,产量及其构成要素最高(与拟合方程结果一致,2个试验年度施磷量分别为153、148 kg/hm²增产效果较好),各农艺性状均有提高,穗数增幅为9%~18%和14%~22%,穗粒数增幅为5%和5%,千粒质量增幅为4%~6%和8%~12%,产量增幅为21%~41%和19%~24%,水分利用效率增幅为19%~25%和17%~20%。相关分析表明,降水年份对穗数、穗粒数、千粒质量具有显著或极显著调控作用,磷肥对产量构成因素的影响均不明显,降水年份和磷肥之间的交互作用对穗数、穗粒数具有显著或极显著影响,降水年份对产量的调控作用大于磷肥;穗数、千粒质量与产量极显著正相关。【结论】施磷量为150 kg/hm²时,有利于旱地麦田保持土壤水分,提高土壤表层有效磷量和植株磷素积累量,从而优化了产量构成要素,最终提高了籽粒产量、水分利用效率和磷肥贡献率。

关键词:旱地小麦; 施磷量; 土壤水分; 磷素; 产量及其构成要素

中图分类号:S512.1

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.0645

陆梅,孙敏,高志强,等. 不同施磷水平对旱地小麦产量及其构成要素的影响[J]. 灌溉排水学报,2018,37(7):13-19.

0 引言

施加磷肥是实现旱地小麦高产稳产的重要措施,同时有利于增强植株抗旱性,但黄土高原雨养麦区磷肥因当季利用率低且残留在土壤中的磷易淋失等问题而造成减产,因此,研究合理施磷对旱地小麦增产尤为重要。增施磷肥可促进小麦生长,增加分蘖,提高分蘖成穗率^[1];可促进小麦根系下扎,增强对深层土壤水分的吸收能力,提高抗旱性,进而提高产量^[2],但过量施磷反而造成减产。李廷亮等^[3]对晋南地区冬小麦的研究表明,施磷量0~120 kg/hm²范围内,小麦产量随施磷量增加而显著提高,继续增加施磷量,产量反而下降。姜宗平等^[4]对江苏泰兴水地小麦的研究表明,当施磷量为108 kg/hm²时可获得较高产量,继续增加施磷量则产量降低。而磷肥与水分之间有明显的交互作用,适水处理能够有效促进植株吸收磷素,提高磷素积累量,提高产量,而水分亏缺则抑制植株对磷素的吸收和利用^[5];适宜的水分和磷素配合可较好地发挥作用,提高小麦产量^[6]。前人对水磷互作的研究多基于不同灌水水平下施磷水平对产量的影响,而对旱作麦区不同降水年份施磷水平对产量的影响研究报道较少。因此,根据不同降水年份合理调控施磷量实现冬小麦增产稳产成为诸多旱作栽培工作者研究的热点。本研究在黄土高原东南部山西晋南旱作麦区,连续2 a设置4个施磷水平,研究其对旱地小麦土壤水分、土壤和植株含磷量、产量及其构成要素的影响,明确获得高产的适宜施磷量,旨在为黄土高原雨养麦区磷肥合理施用提供理论依据。

收稿日期:2017-10-24

基金项目:国家现代农业产业技术体系建设专项经费(CARS-03-01-24);国家自然科学基金项目(31771727);国家公益性行业(农业)科研专项(201303104);山西省科技创新团队项目(201605D131041);山西省回国留学人员重点科研资助项目(2015-重点4);山西省回国留学人员科研资助项目(2017-068);晋中市科技计划项目(Y172007-2);三晋学者专项资金项目

作者简介:陆梅(1964-),女,上海崇明人。实验师,主要从事旱作栽培及生理方面的研究。E-mail:13403549995@163.com

通信作者:高志强(1964-),男。教授。E-mail: gaozhiqiang1964@126.com

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于2012—2014年在山西农业大学闻喜县邱家岭村旱地小麦试验基地进行。试验地为丘陵旱地,无灌溉条件,一年一作,夏季休闲。该地区属于暖温带大陆性气候,年均气温为12.9℃,无霜期190 d,年均降水量437.5 mm,平均年日照时间2 461 h,年均蒸发量1 838.9 mm。试验田地势平坦,土层深厚,透水、通气性能良好,土壤质地为黏壤土。小麦收获后,分别于2012年6月10日、2013年6月8日测定0~20 cm土层土壤肥力(表1),2012—2014年降水量见表2。2012—2013年度总降水量为355.7 mm,其中休闲期(6月下旬至9月下旬)降水量为188.4 mm,占全年降水量的53%,开花至成熟期(5月中旬至6月中旬)降水量较多,而播种至越冬期(10月上旬至11月下旬)、越冬至拔节期(12月上旬至4月上旬)、拔节至开花期(4月中旬至5月上旬)降水量较少;2013—2014年度总降水量为489.7 mm,其中休闲期降水量为288.2 mm,占全年降水量的59%,拔节至开花期降水量较多。

表1 试验地土壤基础肥力

年度	有机质质量分数/(g·kg ⁻¹)	全氮质量分数/(g·kg ⁻¹)	碱解氮质量分数/(mg·kg ⁻¹)	速效磷质量分数/(mg·kg ⁻¹)
2012—2013	8.88	0.61	38.62	14.61
2013—2014	10.88	0.85	39.32	13.10

表2 试验地的降水量

年度	休闲期	播种—越冬期	越冬期—拔节期	拔节期—开花期	开花期—成熟期	总计
2005—2014 平均值	268.39±51.61	50.01±17.28	30.89±12.67	33.40±22.08	63.80±12.92	446.50±18.93
2012—2013	188.4	32.8	22.4	12.0	100.1	355.7
2013—2014	288.2	43.7	23.1	104.0	30.7	489.7

1.2 试验设计

供试品种为运早20410(由闻喜县农业局提供)。试验采用单因素随机区组设计,施磷量分别为(P₂O₅)0、75、150、225 kg/hm²共4个水平,小区面积20 m×3 m=60 m²,重复3次,共12个小区。前茬小麦收获时留高茬,2个试验年度均在7月15日采用深松施肥一体机进行深松(深度35~40 cm),同时施生物有机肥(山西大学研制,品牌为“沃丰”,有效活菌数≥2×10⁸/g,有机质量≥25%,ω(N+P₂O₅+K₂O)≥6%)1 500 kg/hm²,秸秆覆盖于地表,8月25日浅旋耙平土地,10月1日、9月29日采用膜际条播播种,即地膜覆盖播种,起垄、覆膜、播种、镇压1次完成,60 cm为1带,起垄,垄底宽40 cm,垄高10 cm,垄顶成圆弧形,采用400 mm×0.01 mm地膜覆盖在垄上,地膜二侧覆土,垄沟膜侧种植2行小麦,小麦窄行行距20 cm,宽行行距40 cm。播前将不同磷肥用量按试验设计均匀撒入相应小区,同时每小区撒入纯氮(尿素,含N量46%)、钾肥(氯化钾,含K₂O量52%)各150 kg/hm²,播种量90 kg/hm²,基本苗225×10⁴株/hm²。于开花后10~15 d揭生育期覆盖的地膜,适时收获。

1.3 取样及测定方法

有效磷量的测定:分别于越冬期、拔节期、开花期、成熟期取表层(0~20 cm)土样,采用0.5 mol/L NaHCO₃浸提-钼锑抗比色法测定土壤有效磷量。

土壤水分的测定:于前茬小麦收获后,在地块内挖一个3 m深的剖面坑,将剖面削齐铲平,分层取土,每20 cm为1土层,采用环刀法测定土壤体积质量^[7]。分别于播前、越冬期、拔节期、开花期、成熟期,12个小区均在小麦行间用土钻取0~300 cm土层的土样,分层取土,每20 cm为1土层,装入铝盒称每个土样的湿质量,再将土样于105℃烘干至恒质量,称每个土样的干质量,计算土壤含水率和土壤蓄水量^[8]。

植株含磷率的测定:分别于越冬期、拔节期、开花期、成熟期,每小区选择长势均匀的20株样本,将越冬期整株、拔节至成熟期分离各器官,用剪刀剪去根,将地上部植株分器官装进牛皮纸袋中,置于105℃烘箱杀青30 min后70℃烘至恒质量,称量并记录单株干物质量。将称完的植株干物质磨碎后,采用钒钼黄比色法测定植株含磷量。

产量的测定:成熟期调查0.667 m²穗数、平均穗粒数及千粒质量,每小区取50株测定生物产量,收割16 m²计经济产量。

1.4 计算方法及统计方法

土壤蓄水量=土壤含水率×土层厚度×土壤体积质量,

水分利用效率=产量/生育期耗水量,

植株磷素积累量=干物质量×含磷量,

磷肥贡献率=(施磷区产量-不施磷区产量)/不施磷区产量^[9]。

采用Microsoft Excel 2007软件处理数据和作图,用DPS软件进行统计分析,差异显著性检验用LSD法,显著性水平设定为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 施磷水平对旱地小麦各生育时期土壤蓄水量的影响

2013—2014年度播前至开花期0~300 cm土壤蓄水量高于2012—2013年度,主要由于2013—2014年度休闲期降水较2012—2013年度多99.8 mm;而成熟期土壤蓄水量却相反,由于2013—2014年度开花至成熟阶段降水较2012—2013年度少60.6 mm(表3)。2个试验年度,随施磷量的增加,播前0~300 cm土壤蓄水量无明显变化,越冬期和拔节期土壤蓄水量先增加后降低,以施磷量为150 kg/hm²最高;开花后土壤蓄水量以施磷量为150 kg/hm²最低。可见,适量施磷(150 kg/hm²)有利于保持并利用土壤水分至旱地小麦后期。

表3 不同降水年份和施磷水平下旱地小麦各生育时期0~300 cm土壤蓄水量

年份	施磷量/(kg·hm ²)	0~300 cm土壤蓄水量/mm				
		播前	越冬期	拔节期	开花期	成熟期
2012—2013	0	508.69 a	432.55 c	422.10 b	424.98 a	441.54 a
	75	501.03 a	438.16 b	428.71 b	413.56 ab	429.88 ab
	150	505.27 a	448.06 a	437.10 a	399.57 c	408.94 b
	225	504.25 a	439.75 b	427.30 b	410.68 bc	425.42 ab
2013—2014	0	612.84 a	556.52 c	548.46 b	488.25 a	390.21 a
	75	612.38 a	560.62 c	552.25 b	467.33 bc	376.63 b
	150	610.47 a	572.50 a	561.39 a	460.04 c	374.19 b
	225	602.37 a	567.30 b	552.79 b	473.68 b	379.74 b

注 不同小写字母表示各处理差异显著($P<0.05$)。下同。

2.2 施磷水平对旱地小麦各生育时期土壤有效磷量的影响

随施磷量的增加,越冬期0~20 cm土层土壤有效磷量逐渐增加,但施磷量为150 kg/hm²与225 kg/hm²处理间差异不显著;拔节—成熟期以施磷量为150 kg/hm²最高(表4)。可见,适量施磷(150 kg/hm²)有利于提高土壤表层有效磷量。

表4 不同施磷水平下各生育时期0~20 cm土层土壤有效磷量

年份	施磷量/(kg·hm ²)	0~20 cm土层土壤有效磷量/(mg·kg ⁻¹)			
		越冬期	拔节期	开花期	成熟期
2012—2013	0	14.38 c	14.98 d	8.41 c	5.41 c
	75	26.52 b	20.28 c	15.00 b	10.30 b
	150	33.31 a	28.75 a	22.83 a	16.77 a
	225	34.05 a	24.59 b	19.20 b	14.57 b
2013—2014	0	17.86 c	16.16 c	12.06 d	7.48 d
	75	28.22 b	22.97 b	15.87 c	12.57 c
	150	34.90 a	27.91 a	24.30 a	18.46 a
	225	36.45 a	24.64 b	22.62 b	17.61 b

表5 不同降水年份和施磷水平下各生育时期植株磷素积累量

年份	施磷量/(kg·hm ²)	植株磷素积累量/(kg·hm ²)			
		越冬期	拔节期	开花期	成熟期
2012—2013	0	21.36 b	32.54 d	55.53 d	61.31 d
	75	25.77 a	35.64 c	63.10 c	71.16 c
	150	27.46 a	41.29 a	69.32 a	86.33 a
	225	28.05 a	38.83 b	66.38 b	80.97 b
2013—2014	0	23.60 c	34.93 c	61.57 c	73.61 d
	75	29.52 b	37.30 b	66.38 b	81.62 c
	150	31.45 ab	44.02 a	73.47 a	90.52 a
	225	31.91 a	39.17 b	70.51 a	86.75 b

2.3 施磷水平对旱地小麦各生育时期植株磷素积累量的影响

随施磷量的增加,越冬期植株磷素积累量逐渐增加,但施磷量为 150 kg/hm²与 225 kg/hm²处理间差异不显著;拔节—开花期以施磷量为 150 kg/hm²最高(表 5)。可见,适量施磷(150 kg/hm²)有利于拔节后植株吸收磷素。

2.4 施磷水平对旱地小麦产量及其构成因素的影响及相关性分析

降水年份、磷肥及二者的交互作用对旱地小麦产量都具有显著的调控作用(表 6)。2013—2014 年度,冬小麦产量在 4 834~5 999 kg/hm²范围内波动,显著高于 2012—2013 年度。同一施磷水平下,2013—2014 年度的冬小麦产量较 2012—2013 年度提高 2 794~3 338 kg/hm²,增产率达 109%~137%。随施磷量的增加,旱地小麦产量呈抛物线的变化趋势,从施磷水平与产量拟合方程可知,二者存在显著回归关系。2012—2013 年度, $y = -0.033 6x^2 + 10.106 8x + 2 006.938 4$ ($R^2 = 0.936 4$),当施磷量为 153 kg/hm²时,理论产量最高,为 2 779 kg/hm²; 2013—2014 年度, $y = -0.055 1x^2 + 16.272 3x + 4 851.425 6$ ($R^2 = 0.992 3$),当施磷量为 148 kg/hm²时,理论产量最高,为 6 054 kg/hm²(图 1)。

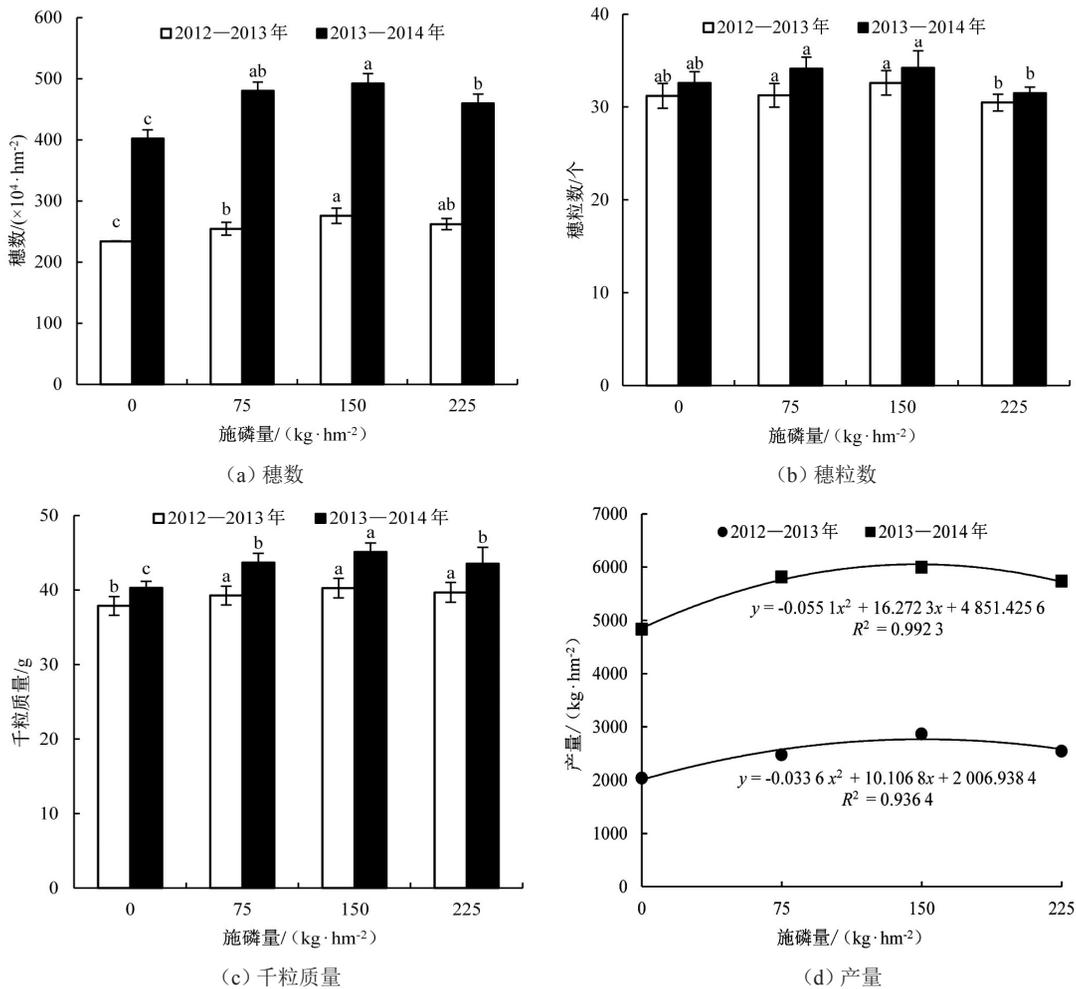


图 1 不同施磷水平下旱地小麦产量及其构成因素

降水年份对穗数、穗粒数、千粒质量具有显著或极显著调控作用,磷肥和降水年份之间的交互作用对穗数、穗粒数具有显著或极显著影响;磷肥对产量构成因素的影响均不明显(表 6)。随施磷量的增加,穗数和千粒质量均先升高后降低,以施磷量 150 kg/hm²最高,施磷与不施磷处理间差异显著,2 个试验年度施磷处理穗数分别提高 9%~18%、14%~22%,千粒质量分别提高 4%~6%、8%~12%;穗粒数先升高后降低,以施磷量 150 kg/hm²较高,施磷量 75、150 kg/hm²与不施磷处理间差异不显著,2 个试验年度均提高 5%(图 1)。可见,降水年份对旱地小麦产量构成因素的影响大于磷肥,无论降水多少,施磷量为 150 kg/hm²最有利于优化产量构成。

表6 不同降水年份和施磷水平下产量、产量构成因素

因变量	自变量	自由度	F	P
产量	降水年份	1	731.289 7	0.000 1
	磷肥	3	13.566 1	0.029 9
	降水年份×磷肥	3	8.897 5	0.001 5
穗数	降水年份	1	254.330 4	0.000 5
	磷肥	3	4.900 0	0.112 2
	降水年份×磷肥	3	79.028 0	0.000 1
穗粒数	降水年份	1	18.186 6	0.023 7
	磷肥	3	6.684 3	0.076 5
	降水年份×磷肥	3	5.282 3	0.012 0
千粒质量	降水年份	1	52.957 2	0.005 4
	磷肥	3	8.141 0	0.059 4
	降水年份×磷肥	3	2.055 3	0.152 4

由表7可知,相关性分析可知,穗数、千粒质量与产量极显著正相关,而穗粒数与产量正相关。

表7 旱地小麦产量构成因素与产量的相关性

指标	穗数	穗粒数	千粒质量
2012—2013年产量	0.995 7**	0.546 2	0.986 4**
2013—2014年产量	0.985 9**	0.411 4	0.988 4**
平均值	0.995 5**	0.444 7	0.998 7**

注 **表示在 $P < 0.01$ 水平显著。

2.5 施磷水平对旱地小麦磷肥贡献率和水分利用效率的影响

2012—2013年度磷肥贡献率高于2013—2014年度(图2)。随施磷量的增加,磷肥贡献率先升高后降低,以施磷量为 150 kg/hm^2 最高,2个试验年度磷肥贡献率分别达41、24 kg/kg ,较其他施磷处理分别提高62%~90%、18%~29%。2013—2014年度水分利用效率较2012—2013年度提高26%~31%。随施磷量的增加,水分利用效率先升高后降低,以施磷量 150 kg/hm^2 最高,施磷与不施磷处理间差异显著,2个试验年度分别提高19%~25%、17%~20%。可见,适量施磷(150 kg/hm^2)可获得较高的磷肥贡献率和水分利用效率。

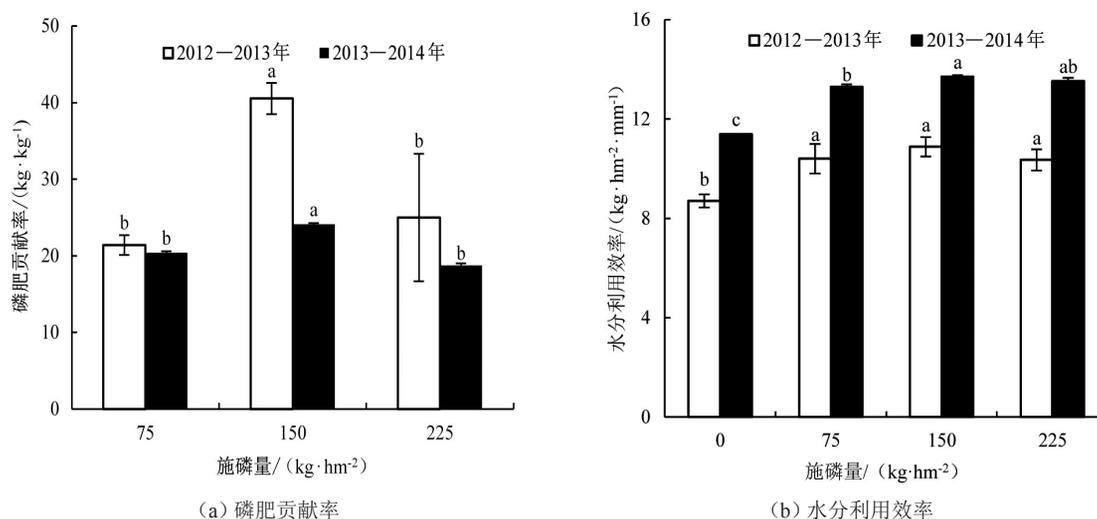


图2 不同施磷水平下旱地小麦磷肥贡献率和水分利用效率

3 讨论

3.1 施磷水平对土壤水分的影响

磷肥能促进旱地小麦根系生长^[10-11],调动深层土壤水分至上层^[12],从而促进旱地小麦生育后期吸收深层土壤水分,缓解干旱^[13]。本研究中,随施磷量的增加($0 \sim 150 \text{ kg/hm}^2$),越冬期和拔节期 $0 \sim 300 \text{ cm}$ 土壤蓄水量增加,主要由于低磷导致植株分蘖和叶面积较小,土壤裸露面积较大,秋冬季风较大,雨水少,水分散失严重^[14],而开花期和成熟期却降低,主要由于磷肥促进深层土壤水分的吸收利用^[15-16],当磷肥用量超过

150 kg/hm²时,小麦营养生长过旺^[17],降低有效穗数形成,后期吸水较少。因此,磷肥量为150 kg/hm²时,旱地小麦能合理利用土壤水分。

3.2 施磷水平对土壤有效磷量和植株磷素积累量的影响

农作物体内含磷量多少,主要取决于土壤中有效磷供应的多少。土壤中有效磷量高,作物吸收就多,磷素积累在籽粒中也多,产量就高^[18]。不同地区因土壤地力的差异,磷素吸收和增产的适宜施磷量也不同。例如,在山东省龙口市15.94 mg/kg和30.44 mg/kg的有效磷量地力条件下,磷素吸收量最高的施磷量为105 kg/hm²^[19];在江苏省泰兴市速效磷<5 mg/kg的地力条件下,随施磷量增加(0~180 kg/hm²),各生育时期植株磷素积累量增加^[4]。本研究中,在山西运城闻喜13~15 mg/kg的有效磷量地力条件下,增施磷肥(0~150 kg/hm²),植株氮素积累量逐渐增加,主要由于土壤有效磷量供应逐渐增加。

3.3 施磷水平对产量及其构成因素的影响

降水较多,产量较高,降水较少,产量较低^[20]。本研究表明,2013—2014年度(降水量为489.7 mm)产量较2012—2013年度(降水量为355.7 mm)提高109%~137%,这与前人研究结果^[20]一致。

在渭北旱塬麦区施磷量为0~100 kg/hm²时,旱地小麦产量显著提高,但施磷量超过100 kg/hm²时产量提高不明显^[21];在陕西长武县十里铺村塬地,施氮量为90 kg/hm²前提下,施磷量为180 kg/hm²时获得最高的小麦籽粒产量^[22];山西洪洞县旱地小麦施磷量为120 kg/hm²时产量最高^[3]。而本研究中,施磷量和产量之间存在显著的回归关系,适宜增加施磷量(0~150 kg/hm²),改善了土壤表层有效磷量,促进小麦后期吸收土壤水分,增加了植株磷素积累量,提高了穗数(9%~22%)和千粒质量(4%~12%),进而提高了产量,但施磷量过多,土壤有效磷量和植株磷素积累量并没增加,产量降低。

4 结论

1)施磷量为150 kg/hm²时,有利于越冬期和拔节期土壤蓄水量积累,有利于开花后作物吸收土壤水分,小麦合理吸收利用土壤水分。

2)施磷量为150 kg/hm²时,有利于各生育时期土壤表层有效磷量增加,提高了植株磷素积累量。

3)施氮量一定的前提下,施磷量和产量之间存在显著的回归关系,拟合方程显示,2012—2013年度(降水量为355.7 mm),施磷量为153 kg/hm²时产量最高;2013—2014年度(降水量为489.7 mm),施磷量为148 kg/hm²时产量最高。施磷量为150 kg/hm²时,穗数和千粒质量的增加是产量增加的主要原因。

参考文献:

- [1] RODRÍGUEZ D, ANDRADE F H, GOUDRIAAN J. Effect of phosphorus nutrition on tiller emergence in wheat[J]. Plant and soil, 1999, 202(2): 283-295.
- [2] 康利允,李世清. 分层供水施磷对冬小麦生长及水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(1): 85-92.
- [3] 李廷亮,谢英荷,洪坚平,等. 施磷水平对晋南旱地冬小麦产量及磷素利用的影响[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(6): 658-665.
- [4] 姜宗庆,封超年,黄联联,等. 施磷量对小麦物质生产及吸磷特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(5): 628-634.
- [5] 赵长海,逢焕成,李玉义,等. 水磷互作对潮土玉米苗期生长及磷素积累的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(1): 236-240.
- [6] 刘明,逢焕成. 水磷互作对黑垆土春小麦生长及产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2007(4): 73-75.
- [7] 郭国双. 谈谈土壤容重的测定[J]. 灌溉排水, 1983, 2(2): 39-41.
- [8] 侯贤清,王维,韩清芳,等. 夏闲期轮耕对小麦田土壤水分及产量的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(10): 2 524-2 532.
- [9] 王伟妮,鲁剑巍,李银水,等. 当前生产条件下不同作物施肥效果和肥料贡献率研究[J]. 中国农业科学, 2010, 43(19): 3 997-4 007.
- [10] 郑彩霞,张富仓,张志亮,等. 限量灌水和施磷对冬小麦养分吸收及利用的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(3): 39-42.
- [11] 张蓓蓓,刘文兆. 黄土塬区施加磷肥对小麦光合性能、水分利用效率及径流速率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(4): 88-93.
- [12] 黄洁,张扬,沈玉芳,等. 施肥对水分胁迫下冬小麦根系吸水及养分利用的影响[J]. 麦类作物学报, 2010, 30(2): 353-357.
- [13] 高艳梅,孙敏,高志强,等. 旱地小麦休闲期覆盖施磷对土壤水库的调控作用[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(10): 1 139-1 145.
- [14] 白冬,高志强,李光,等. 休闲期耕作配施磷肥对旱地小麦越冬期幼苗生长的影响[J]. 山西农业科学, 2012,40(8): 844-846, 856.
- [15] 王帅,孙敏,高志强,等. 旱地小麦休闲期覆盖保水与磷肥对植株氮素吸收、利用的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(3): 231-236.
- [16] 任爱霞,孙敏,王培如,等. 深松蓄水和施磷对旱地小麦产量和水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(19):3 678-3 689.
- [17] 陈玉福,刘景莉. 不同施肥量对小麦产量影响的初步探讨[J]. 青海农林科技, 2006(2): 10-12,18.
- [18] 代东明,聂晶. 再谈磷素营养与施磷肥[J]. 内蒙古农业科技, 2012(4): 60-63.
- [19] 孙慧敏,于振文,颜红,等. 不同土壤肥力条件下施磷量对小麦产量、品质和磷肥利用率的影响[J]. 山东农业科学, 2006(3): 45-47.

- [20] HU Yutong, HAO Mingde, WEI Xiaorong, et al. Contribution of fertilization, precipitation and variety to grain yield in winter wheat on the semiarid Loess Plateau of China [J]. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, 2016, 66(5): 406-416.
- [21] 孟晓瑜, 王朝辉, 杨宁, 等. 底墒和磷肥对渭北旱塬冬小麦产量与水、肥利用效率的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17(5): 1 083-1 090.
- [22] 李慧成, 郝明德, 何晓燕, 等. 黄土高原长期施用磷肥效应研究[J]. *华北农学报*, 2008, 23(S2): 279-282.

Impact of Different Phosphorus Application Levels on Yield and Grain Traits of Winter Wheat in Drylands

LU Mei , SUN Min, GAO Zhiqiang*, REN Aixia, LEI Miaomiao, XUE Lingzhu
(College of Agriculture, Shanxi Agriculture University, Taigu 030801, China)

Abstract: 【Objective】 Fertilization is essential in modern agriculture but inappropriate management could lead to yield decrease rather than increase. We took phosphorus fertilizer as an example in this paper, investigating the impact of its application levels on yield and grain traits of wheat growing in dryland in the Loess Plateau. 【Method】 A field experiment was conducted from 2012 to 2014 at the Village of Qiujialing at Wenxi County of Shanxi Province, with phosphorus fertilizer applied at 0, 75, 150 and 225 kg/hm² respectively. During the experiment, we measured soil moisture, accumulation of phosphorus in both soil and plant, as well as the yield and grain traits of the wheat. 【Result】 With the increase in phosphorus application, the 0~300 cm water content before flowering stage, the available phosphorus in top soil after jointing stage, and the accumulated phosphorus at each growth stage all increased first, followed by a decline after peaking at 150 kg/hm². The regression model between yield and phosphorous application rate gave a maximum yield of 153 kg/hm² in 2012—2013 and of 148 kg/hm² in 2013—2014. With phosphorus application increasing, the number of spikes increased by 9%~18% and 14%~22%, the grains per spike by 5%, 1000-grain weight by 4%~6% and 8%~12%, yield by 21%~41% and 19%~24%, and water use efficiency by 19%~25% and 17%~20%, respectively, in 2012—2013 and 2013—2014. Correlation analysis showed that precipitation affected the number of spikes, the number of grains per spike and 1000-grain weight more significantly than the phosphorus fertilizer did, and that precipitation and phosphorous combined to regulate the number of spikes and the number of the grains per spike. We also found that precipitation had a more profound impact on the yield than phosphorus. 【Conclusion】 Applying phosphorus fertilizer at 150 kg/hm² appeared to be optimal. It enhanced soil moisture, the available phosphorus in top soil, as well as phosphorus accumulation in plant, thereby increasing water use efficiency, yield and grain traits.

Key words: dryland wheat; phosphorus application; soil water storage; phosphorus; yield and its component

责任编辑:赵宇龙